



rappport

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve
vid Holmsvattnet under åren 1986-2004

Årsrapport 2004

Anna Liljergren och Olle Westling

B1634

Aug 2005



Organisation/Organization IVL Svenska Miljöinstitutet AB IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd.	RAPPORTSAMMANFATTNING Report Summary
Adress/address Box 5203 411 33 Göteborg	Projekttitel/Project title HVTMET
Telefonnr/Telephone 031 7256200	Anslagsgivare för projektet/ Project sponsor Boliden Mineral AB
Rapportförfattare/author Anna Liljergren, Olle Westling	
Rapportens titel och undertitel/Title and subtitle of the report Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet under åren 1986-2004	
Sammanfattning/Summary <p>IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt metaller i ett 66-årigt granskogsområde vid Holmsvattnet, 17 km SSV av smältverket vid Rönnskär. Syftet är att kvantifiera depositionen samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kemi. Undersökningarna under 2003/04 jämförs med mätningar under 1986 till 2003 i samma område.</p> <p>Depositionen av svavel och kväve har liksom föregående år inte visat några större förändringar under det senaste mätåret. Totaldepositionen var något högre än året innan på grund av en högre nederbörd.</p> <p>Halterna av sulfatsvavel i nederbörd vid Holmsvattnet har legat runt 0,4 mg /L sedan 1996, efter en kraftig minskning mellan 1986 (0,9 mg/L) och 1992 (0,5 mg/L). Kvävehalterna i nederbörd var genomgående låga och har varierat något runt 0,2 mg N /L sedan 1996. Kvävet som deponerats till skogen togs nästan helt upp i vegetationen och bidrog således inte direkt till markförsurning vid Holmsvattnet.</p> <p>Depositionen i form av nederbörd på ett öppet fält av arsenik och metaller under det senaste mätåret har varit lik den uppmätta på andra lokaler i Sverige för alla metaller utom koppar och zink. Depositionen av koppar (11 g/ha och år) och zink (80 g/ha och år) var liksom tidigare år förhöjd jämfört med övriga lokaler i landet.</p> <p>Skogsmarken i området är fortfarande påverkad av försurning, indikerat av avrinningsvattnets kemi. Det förhållandevis torra mätåret 2003/04, med en årsavrinning på 274 mm, ledde till små förluster av metaller och andra markbundna ämnen till vattendraget. Avrinningen var till största del grundvatten som generellt uppvisade låga metallhalter.</p> <p>Liksom för sulfatsvavel uppvisar halterna i nederbörd av metallerna arsenik, kadmium och bly en tydlig minskning mellan åren 1986 och 1989, för att därefter plana ut med mindre variationer kring en stabil nivå. Dock är den trenden inte lika tydlig för koppar och zink där variationerna mellan åren varit större. Totaldepositionen av metaller från nederbörd i området 2003/04 var något högre för arsenik och kadmium och något lägre för koppar, bly och zink, jämfört med närmast föregående år.</p> <p>Utlakningen av arsenik, som var rätt hög under andra halvan av 1990-talet har minskat under senare år, trots en ökning under det senaste året jämfört med året innan. Det är inte troligt att det senaste mätårets halter av undersökta metaller, surhetsgraden i avrinningen eller utlakning av organiska syror orsakar ekologiska skador.</p>	
Nyckelord samt ev. anknytning till geografiskt område eller näringsgren /Keywords regionala bakgrundsvärden, ytvatten, metaller, svavel, kväve, smältverk, norra Sverige	
Bibliografiska uppgifter/Bibliographic data IVL Rapport/report B 1634	
Beställningsadress för rapporten/Ordering address Hemsida: www.ivl.se , e-mail: publicationservice@ivl.se , fax: 08-598 563 90 eller IVL, Box 210 60, 100 31 Stockholm.	

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	1
Summary.....	2
1. Inledning	3
2. Metoder	4
2.1. Deposition.....	4
2.2. Avrinningsvatten.....	6
2.3. Hydrologi.....	6
2.4. Analysmetoder	7
2.5. Kontamineringsrisker.....	7
3. Resultat 2003/04 jämfört med 1986-2003.....	8
3.1 Miljötilståndet 2004	8
3.2. Deposition.....	8
3.3. Haltvariation	13
3.4. Avrinning.....	17
3.5. Jämförelse mellan deposition, halter och avrinning	20
4. Referenser	24
Bilaga 1. Årlig deposition, avrinning och medelhalt	25

Sammanfattning

IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve samt metaller i ett 65-årigt granskogsområde vid Holmsvattnet, 17 km SSV av smältverket vid Rönnskär. Syftet är att kvantifiera depositionen samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kemi. Undersökningarna under 2003/04 jämförs med mätningar under 1986 till 2003 i samma område.

Depositionen av svavel och kväve har inte visat några större förändringar under det senaste mätåret. Totaldepositionen låg i stort i nivå med de två närmast föregående åren, men något lägre än medelvärdet för de senaste fem åren, beroende på lägre nederbörd än genomsnittet.

Halterna av sulfatsvavel i nederbörd vid Holmsvattnet har legat runt 0,4 mg/L sedan 1996, efter en kraftig minskning mellan 1986 (0,9 mg/L) och 1992 (0,5 mg/L). Kvävehalterna i nederbörd var genomgående låga och har varierat något runt 0,2 mg N/L sedan 1996. Kvävet som deponerats till skogen togs nästan helt upp i vegetationen och bidrog således inte direkt till markförsurning vid Holmsvattnet.

Depositionen i form av nederbörd på ett öppet fält av arsenik och metaller under det senaste mätåret har varit lik den uppmätta på andra lokaler i Sverige för alla metaller utom koppar och zink. Depositionen av koppar (11 g/ha och år) och zink (80 g/ha och år) var förhöjd jämfört med övriga lokaler i landet.

Skogsmarken i området är fortfarande påverkad av försurning, indikerat av avrinningsvattnets kemi. Det förhållandevis torra mätåret 2003/04, med en årsavrinning på 274 mm, ledde till något lägre förluster av metaller och andra markbundna ämnen till vattendraget än under nederbördsrikare år. Avrinningen var till största del grundvatten som generellt uppvisade låga metallhalter.

Utlakningen av arsenik, som var betydligt lägre under 2002/03 än tidigare år, ökade återigen något under året och var uppe i samma nivåer som tidigare. Det är inte troligt att det senaste mätårets halter av undersökta metaller, surhetsgraden i avrinningen eller utlakning av organiska syror orsakar ekologiska skador.

Annual report 2004

Summary

Deposition and run-off of the acidifying compounds sulphur and nitrogen, and a number of metals were measured by IVL Swedish Environmental Research Institute in a 65-year old stand of Norway spruce and the primary stream draining the area at Holmsvattnet, 17 km SSW of the Rönnskär smelter. The main goals were to follow the changes in annual deposition and runoff chemistry. Results from the 2003/04 hydrological year (Oct - Sep) are presented and compared with earlier results from the same location.

The measured deposition of sulphur and nitrogen of 2003/04 was similar to that of the previous years. Total deposition during the last year was somewhat lower than the mean average values for the past five years, due to lower precipitation.

Concentrations of sulphate-sulphur in precipitation have been about 0.4 mg/L since 1996, after a strong decline between 1986 (0.9 mg/L) and 1992 (0.5 mg/L). Concentrations of nitrogen have continuously been low, and have stayed at about 0.2 mg N/L since 1996. The nitrogen deposited to forest was almost completely utilised by the vegetation. Therefore, nitrogen did not likely contribute to soil acidification at Holmsvattnet.

Deposition of arsenic and other studied metals in the area during 2003/04 was similar to that measured at 4 other sites in Sweden during that year, except for copper and zinc. Copper (11 g/ha and yr) and zinc deposition (100 g/ha and yr) was clearly raised at Holmsvattnet compared to the amounts measured at other Swedish sites.

In spite of the reduced deposition of acidifying compounds since the start of measurements at Holmsvattnet forest soil acidification is still observable, according to the run-off chemistry. Due to the rather dry weather during the past year, only 274 mm runoff was estimated in the stream. Small losses of soil minerals and metals were noted, as most of the runoff was groundwater base flow. Loss of arsenic, which was small during the previous year 2002/03, increased again up to the same level as earlier years. The deposition and concentrations of studied metals, acidity of the run off, and organic acid contents of the streamwater are not expected to cause any apparent ecological damages in the stream ecosystem.

1. Inledning

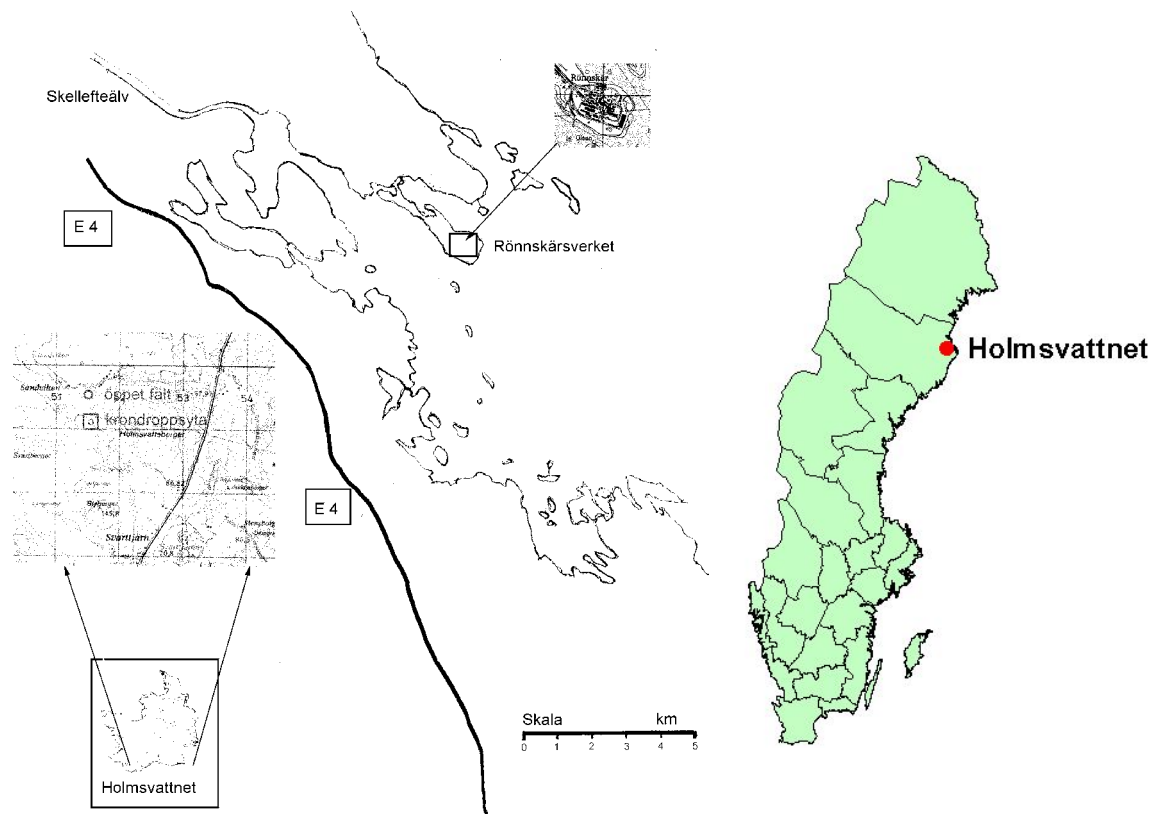
IVL utför undersökningar av deposition och avrinning av svavel, kväve, arsenik samt ett antal metaller i ett skogsområde nära smältverket vid Rönnskär, på uppdrag av Boliden Mineral AB. Syftet är att kvantifiera depositionen samt beskriva eventuella förändringar i det avrinnande vattnets kemi med tiden. Denna rapport beskriver undersökningarna under det hydrologiska året 2003/2004 (oktober till och med september) och gör jämförelser med tidigare resultat från samma område. IVL har tidigare rapporterat resultat i ett antal årsrapporter, den senaste Knulst och Westling (2004). IVL har studerat metallflöden i samma område mellan 1986 och 1989. Det projektet ingick i IVLs branschgemensamma forskningsprogram och studiens mål var att beskriva transporten av luftdeponerade metaller genom marksystemet till ytvatten. Betydelsen av de dåvarande utsläppen värderades i förhållande till tidigare metalldeposition under 1900-talet (Westling och Larsson, 1991).

Undersökningarna utförs i ett 240 ha stort avrinningsområde, 17 km SSV Rönnskärsverket, strax söder om sjön Holmsvattnet (figur 1). Den södra delen utgörs av ett flackt parti omgivet av svallade höjder med berg i dagen. Den norra delen består av en nordsluttning mot sjön. Området är beläget på 52 till 145 m. ö. h.

Mineraljorden i området domineras av relativt blockrik morän (45 % av ytan) samt ett svallsandsparti (28 %) i den centrala dalgången genom området. I de södra delarna finns även myrområden (12 %) och hållmarker (15 %). Jordtäcket är i stora partier mäktigt med undantag för övergångszonen till höjder med berg i dagen. Jordmånen på fastmarken består vanligtvis av järnpodsol. Den norra delen av svallsandsområdet domineras av humus-podsol.

Skogsbestånden domineras av frisk barrskog med inslag av hållmarkstallskog, frisk lövskog (björk och asp) samt fuktig till våt barr- och lövskog. I nordsluttningen i den norra delen av området finns ett stort bestånd av äldre granskog. På de flacka partierna dominerar gles tallskog med inslag av björk. Skogen i området är konventionellt brukad. Fältskiktet är huvudsakligen av ristyp. Bottenskiktet domineras av vit-, hus- och väggmossa. Området avvattnas både genom naturliga bäckar och grävda diken. Inom området finns två mindre gölar.

Undersökningarna av deposition och markvatten utförs i en skogsyta som även ingår i ett regionalt nät av provtytor för övervakning av luftföroreningar som täcker större delen av Sverige. Data presenteras på Krondroppsnätets hemsida (<http://www.ivl.se/miljo/projekt/kron/index.asp>). Provtagningen vid Holmsvattnet har utförts av personal från Boliden Mineral. Övrig provhantering har till största delen utförts av Gunnel Hedberg och Karol Koos vid IVL. Ansvarig för undersökningen var Johan Knulst. Sammanställningen har utförts av Anna Liljergren och granskats av Olle Westling, båda vid IVL i Göteborg.



Figur 1: Översiktskarta över Västerbottens kustområde innanför Skelleftebukten med sjön Holmsvattnet (rektangeln) där IVL har undersökt flöden av metaller, svavel och kväve. Sverigekarta med lokalerna utmarkerad infälld.

2. Metoder

2.1. Deposition

Provtagning skedde dels av nederbörd på öppet fält och dels av krondropp (nederbörd som passerat trädens krontak) i en permanent skogsyta (30*30 m) med äldre granskog (>60 år). Skogen strax NO om skogsytan avverkades hösten 1999. Avverkningen sträcker sig upp till bäcken som rinner tvärs längs sluttningen, cirka 100 m från ytan. Själva beståndet där ytan finns har därmed inte rörts men har blivit exponerat något mera för nordliga vindar. Depositionsinsamlare dubblerades på varje plats för att skilja insamling för analys av metaller från analys av övriga parametrar.

Insamling av krondropp för analys av makrokonstituenten

Under sommarhalvåret utnyttjades totalt 10 trattar (Ø 155 mm) för insamling av krondropp. Trattarna monterades på 2 liters dunkar, som var mörklagda med alumini-

umfolie. Dunk och tratt, både av polyeten plast (PE) placerades på en stolpe ca 50 cm ovanför marken. Insamlarna sattes ut slumpmässigt i ytan. Under vinterhalvåret ersattes trattarna med 5 liters PE plasthinkar (Ø 214 mm) monterade på stolpar för insamling av krondropp i form av snö. Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Tio krondropsinsamlare sammanhålldes i fält, eller efter upptining inomhus. Volymen bestämdes och ett mindre delprov uttogs för analys av makrokonstituenten. Delprovet skickades till IVLs laboratorium för vidare hantering.

Insamling av nederbörd för analys av makrokonstituenten

På öppet fält provtogs nederbörd med hjälp av en PE tratt med en diameter på 203 mm. Vintertid utnyttjades en PE snösäck (110 cm lång med en öppningsdiameter på 195 mm). Samtliga insamlare tömdes en gång per månad. Volymen bestämdes efter insamling i fält eller efter eventuell upptining inomhus. Ett mindre delprov uttogs och skickades till IVLs laboratorium för vidare hantering.

Insamling av krondropp för metallanalyser

Insamling av krondropp för metallanalys skedde med en likartad utrustning som för krondropsmätningarna beskrivna ovan. Blyfri glasull hade stoppats i trattspetsarnas övre del. De exponerade PE dunkarna/hinkarna inklusive allt prov skickades med allt insamlat vatten till IVLs laboratorium. Proverna volymbestämdes och fixerades med koncentrerad salpetersyra (suprapur). Proverna lagrades i minst två veckor så att eventuella metaller som adsorberats på kärlväggarna frigjordes. Krondropsinsamlarna (10 stycken) sammanhålldes sedan och ett delprov uttogs som sparades i kylskåp (+4°C och i mörker). Analys utfördes på kvartalsprov, där tre månadsdelprover sammanfördes volymvägt.

Insamling av nederbörd för metallanalyser

Insamling av nederbörd för metallanalys skedde med en likartad utrustning som för nederbördsmätningarna beskrivna ovan. Blyfri glasull hade stoppats i trattspetsarnas övre del. De exponerade PE dunkarna/säckarna inklusiv allt prov skickades med allt insamlat vatten till IVLs laboratorium. Volymen bestämdes. Proverna fixerades med koncentrerad salpetersyra (suprapur) och lagrades i minst två veckor så att eventuella metaller som adsorberats på kärlväggarna frigjordes. Ett delprov uttogs som sparades i kylskåp (+4°C och i mörker). Analys utfördes på kvartalsprov, där tre månadsdelprover sammanfördes volymvägt.

Analys

Parametrar som analyserades på makrokonstituentprov var pH, sulfatsvavel (SO₄-S), klorid (Cl), nitratkväve (NO₃-N), ammoniumkväve (NH₄-N), konduktivitet (Kond) samt eventuellt alkalinitet (Alk, uppmättes endast om pH högre än 4,5).

Parametrar som analyserades på metallprov sedan 1986 var mangan (Mn), kalcium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), kalium (K), arsenik (As), kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn). Sedan hösten 1992 har även järn (Fe), aluminium (Al), barium (Ba), kobolt (Co), krom (Cr) och nickel (Ni) undersökts.

Analys av makrokonstituenten skedde på pappersfiltrerat prov (00A). Alkalimetaller, metaller och arsenik analyserades på ofiltrerat prov, men en viss filtrering skedde direkt i fält under insamlingen, där blyfri glasull hade stoppats i trattsjetsarnas övre del.

Depositionsmätningarna gör det möjligt att beräkna depositionen av olika ämnen i skogsytan, uppmätt som kron dropp. Kron dropp består av våt- och torrdeposition, samt trädens läckage och upptag av olika ämnen. Mätningarna på öppet fält utnyttjades som referens, samt som underlag för att bedöma det torra depositionens bidrag till uppmätta halter i kron dropp för vissa ämnen. Grovt räknad utgörs skillnaden mellan öppet fältdeposition och kron dropp av torrdepositionsandelen. Årsdepositionen och volymvägda årsmedelkoncentrationer beräknades för hydrologiska år, oktober till och med september.

2.2. Avrinningsvatten

Avrinningsvatten provtogs en gång per månad i huvudfåran av bäcken som avvattnar det 240 hektar stora avrinningsområdet söder om Holmsvattnet. Prover för analys av metaller fixerades i fält med salpetersyra (suprapur). Analyserade parametrar var pH, vattenfärg (abs f 400/5 med standardkurva Pt/l), Ca, Mg, Na, K, SO₄-S, Cl, NO₃-N, NH₄-N, Mn, As, Cd, Cu, Pb och Zn. Sedan hösten 1992 analyserades även Fe, Al, Ba, Co, Cr och Ni.

2.3. Hydrologi

En hydrologisk mätdamm uppfördes hösten 1986 i utflödet från avrinningsområdet. Vattenståndet i mätdammen har tidigare avlästs manuellt i samband med provtagning. Dammen har inte fungerat tillfredsställande efter 1991. Därför har hydrologiska data från SMHI inhämtats från ett 150.5 km² stort avrinningsområde med vattendrag Storbäcken i Ostvik, som rinner strax norr om Skellefteå. Dessa data (avrinning per månad och ha) för perioden 1986 till och med 2002 har använts vid beräkning av månatliga vattentransporter ut från avrinningsområdet vid Holmsvattnet. I rapporter från före 2001 har data från Sävarån använts och därför kan värden på avrinning i denna rapport avvika något från tidigare rapporterade siffror. Medelavrinningen i de två vattendrag är mycket lika, men fördelningen under året skiljer sig något, med högre känslighet för snabba flödesvariationer i Storbäcken. Storbäcken är betydligt mindre än Sävarån, vilket gör den mer lik bäcken vid Holmsvatten.

Vid beräkningen av arealförluster (transporter ut) har dagliga halter interpolerats fram, som med uppmätta dagliga flöden ger mängder transporterade ämnen. Sedan har dygns-

värden för mängderna summerats för månader och hela det hydrologiska året. En förbättring i rutinen för beräkning av metalltransporter har genomförts under året. De senaste tre årens data har därför räknats om, vilket gett små förändringar i resultaten. Detta påverkar dock inte slutsatserna kring avrinning, halter och mängd uttransporterade metaller.

Nederbördsmängderna som redovisas i studien är hämtade från IVLs depositionsmåttningar på öppet fält. Årsdata på vattenmängder avser hydrologiska år (oktober till och med september) för öppet fält, krondropp samt avrinning. Torrdepositionsandelen, som oftast tenderar att fastna i trädkronan under den kalla årstiden (nov-apr), fångas således i insamlaren under rätt hydrologiskt år men kan samlas in under fel kalenderår om uppdelningen skulle göras kalenderårsvis (jan-dec).

2.4. Analysmetoder

Elementärt Ca, Mg, Na, K, Fe, Mn, Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb och Zn analyserades på salpetersyra konserverade prov med högupplösande induktivt kopplad plasma mass-spektrometri (ICP-F/MS) på Analytica AB i Luleå. Övriga analyser utfördes vid IVL. SO₄-S, Cl och NO₃-N analyserades med jonkromatograf. NH₄-N analyserades med FIA och en spektrofotometrisk metod. pH och konduktivitet mättes med elektrod. Samtliga analyser utfördes av ackrediterade laboratorier. Alkalinitet mättes genom titration ifall pH-värdet på provet var 5,4 eller högre.

Analysmetoder av proverna på 1980-talet avvek från de metoder som användes efter 1991. Det brukar finnas god överensstämmelse mellan resultat och känslighet för metaller med ICP-F/MS och den tidigare använda metoden med grafitugn adsorptions-spektrometer (AAS) (Analytica, 2003).

2.5. Kontamineringsrisker

Speciell hänsyn togs till kontamineringsrisker i samband med förväntade låga halter av metaller. Material i kontakt med provvatten var utfört av polyeten av livsmedelskvalitet. Diskrutinerna för nytt material följde schemat sköljning med etanol, lakning i 4 M saltsyra (HCl) i två veckor, lakning i 0,1 M HCl i två veckor samt sköljning med dubbeldestillerat vatten. Återanvänt material lakades med 0,1 M HCl i två veckor samt sköljdes med dubbeldestillerat vatten. Destillerat vatten för diskning och spädning samt syra för lakning analyserades kontinuerligt.

3. Resultat 2003/04 jämfört med 1986-2003

Årsvärden (hydrologiska år, okt - sep) från undersökningarna av nederbörd, krondropp och avrinning redovisas både som deposition och som volymvägda medelkoncentrationer i bilaga 1 (tabeller 1 - 6). Medelkoncentration är värdefullt vid jämförelser mellan år, i synnerhet för nederbörd och avrinning. Volymen vatten i krondropp, nederbörd och avrinning under de undersökta åren redovisas i bilaga 1, tabell 7 samt i flera av rapportens figurer.

3.1 Miljötilståndet 2004

Det generella miljötilståndet vid Holmsvattnet kan beskrivas med indikatorer för försurning och metallbelastning. Deposition av försurande ämnen i krondropp och nederbörd har minskat avsevärt. Försurning av mark och vatten (avrinning) har dock inte minskat i samma omfattning och negativa effekter kan avläsas i ett bestående underskott av baskatjoner i förhållande till vätejoner och aluminium i avrinningen. Underskottet är något större än vanligt för skogsmarken i norra Sverige. Nederbörd och krondropp, samt markens vittring, bidrar inte med tillräckligt mycket baskatjoner för en snabb återhämtning från försurning. Nedfallet av flertalet undersökta metaller uppvisar låga värden 2004, men mellanårsvariationen är stor. Halter av koppar och zink i framförallt krondropp är fortfarande högre än förväntade bakgrundsvärden i övriga landet, trots minskade halter för koppar. Även nederbörd uppvisar halter av metallerna koppar och zink som är högre än förväntade bakgrundshalter för den aktuella regionen. Halterna av metaller i avrinning har i de flesta fall minskat kraftigt sedan mitten av 1980-talet. Trots den minskade depositionen av arsenik till området visar avrinningen fortfarande måttligt till höga arsenikhalter, med fluktuationer som troligen styrs av hydrologiska parametrar. Kadmiumhalter har minskat till låga nivåer i både nedfallet och avrinningen, medan bly fortfarande är något förhöjd i nedfallet, men inte i avrinningen.

3.2 Deposition

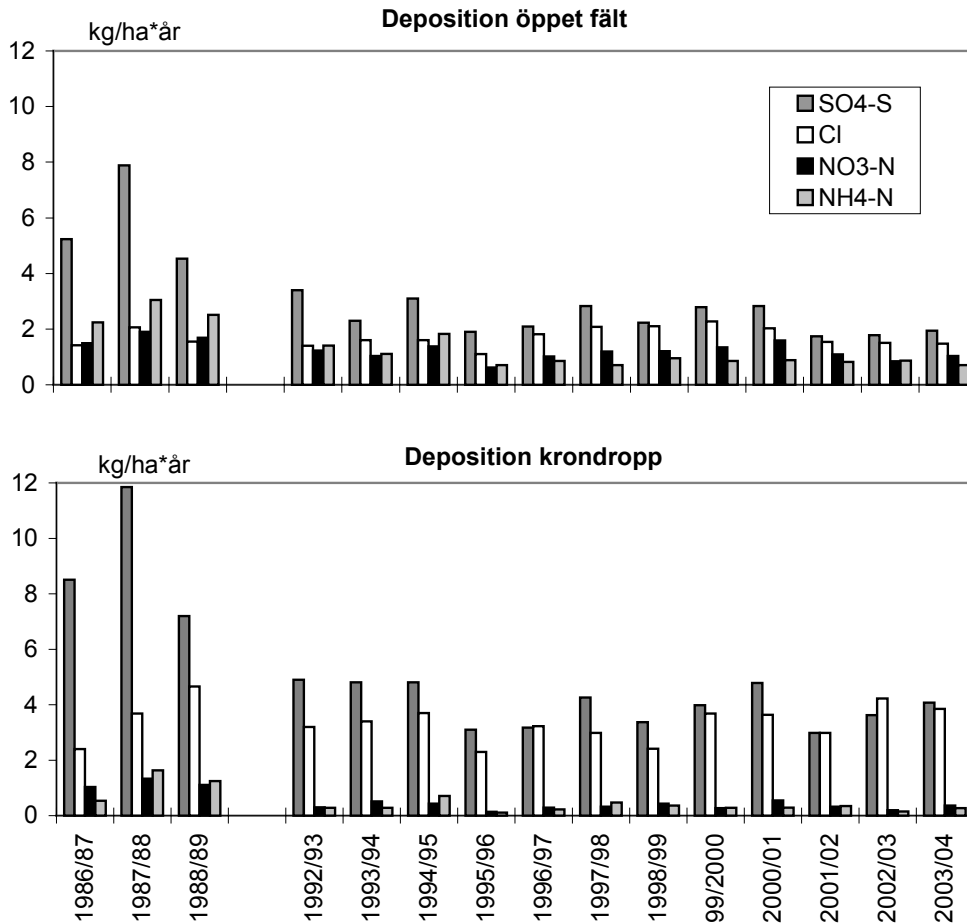
Deposition av svavel och kväve på öppet fält i regionen uppvisar endast smärre mellanårsvariationer under de senaste åren, som kan förklaras med meteorologiska betingelser under exponeringstiden (tabell 1). Detta gäller även provytan vid Holmsvattnet. De senaste tre mätåren har varit torrare än medelnederbörden. Trots den generellt högre nederbörden vid Holmsvattnet än vid övriga mätlokaler i norra Sverige, var nederbördsmängden vid Holmsvattnet lägre än vid regionens mätpunkter under det sista mätåret (tabell 1).

Tabell 1: Jämförelse av de senaste fem hydrologiska årens nederbördsmängder (NB i mm) samt deposition (kg/ha) på öppet fält vid Holmsvattnet (AC35) med medelvärden för alla lokaler med nederbördskemiska mätningar på öppet fält i norra Sverige inom Krondroppsnetet.

Lokaler	Hyd år	NB (mm)	H ⁺	SO ₄ -S	Cl ⁻	NO ₃ -N	NH ₄ -N
öf medel n. Sv (n=24)	1999/00	710	0,08	1,80	2,78	1,12	0,90
öppet fält AC35	1999/00	814	0,13	2,79	2,27	1,34	0,86
öf medel n. Sv (n=20)	2000/01	682	0,11	2,06	1,79	1,34	1,11
öppet fält AC35	2000/01	857	0,14	2,83	2,03	1,59	0,89
öf medel n. Sv (n=13)	2001/02	387	0,04	0,90	1,38	0,65	0,61
öppet fält AC35	2001/02	513	0,06	1,74	1,54	1,09	0,82
öf medel n. Sv (n=5)	2002/03	519	0,06	1,25	1,45	0,93	0,64
öppet fält AC35	2002/03	455	0,05	1,78	1,51	0,84	0,87
öf medel n. Sv (n=4)	2003/04	658	0,08	1,53	1,60	1,00	0,70
öppet fält AC35	2003/04	619	0,09	1,94	1,47	1,04	0,70

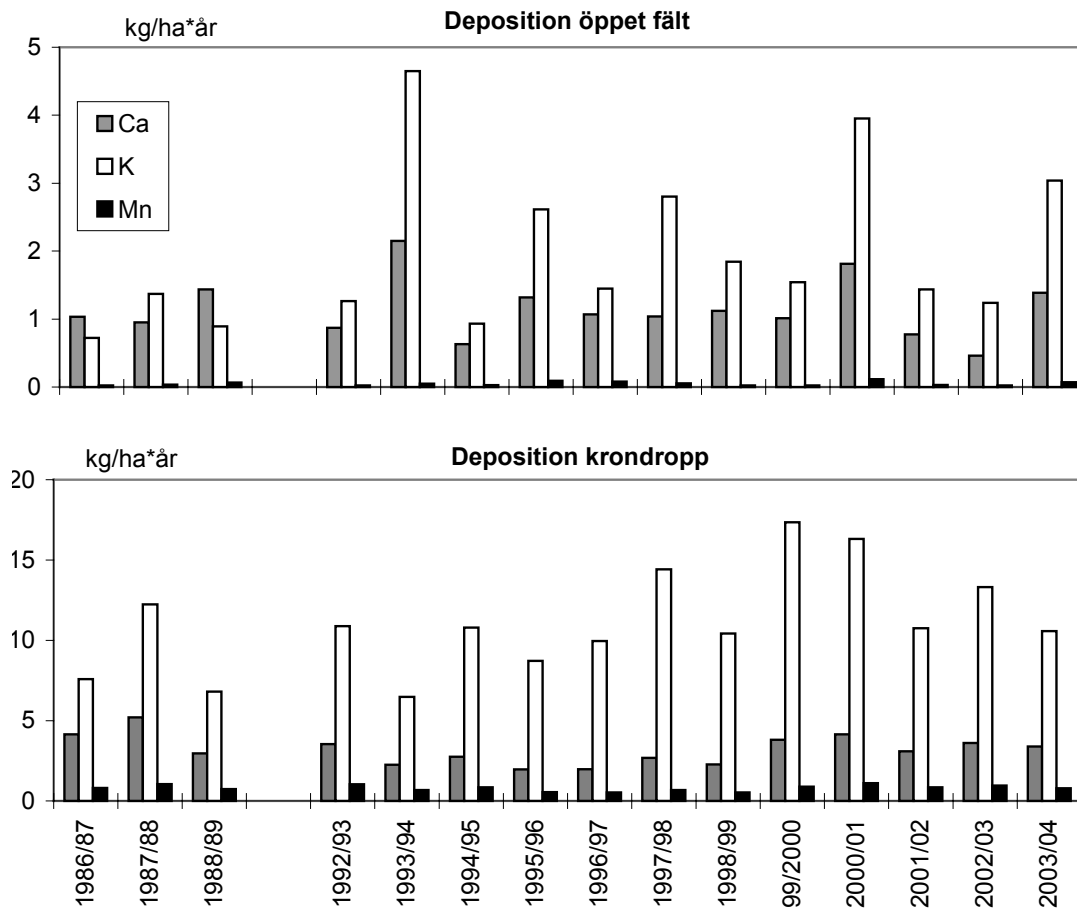
Deposition av svavel i nederbörd och krondropp minskade kraftigt, 55 - 60 %, mellan 1986 och 1992. Under de följande åren är förändringarna små (figur 2). Motsvarande förändringar finns registrerade i hela norra Sverige genom den regionala miljöövervakningen av luftföroreningar (krondroppsnetet), där även skogsytan vid Holmsvattnet ingår.

En viss minskning av deposition av kväve (NO₃-N och NH₄-N) i nederbörd har noterats under perioden 1986 till 1992 (Figur 2). Efter 1992 har depositionen av svavel och kväve främst samvarierat med årliga förändringar i nederbördsmängder.



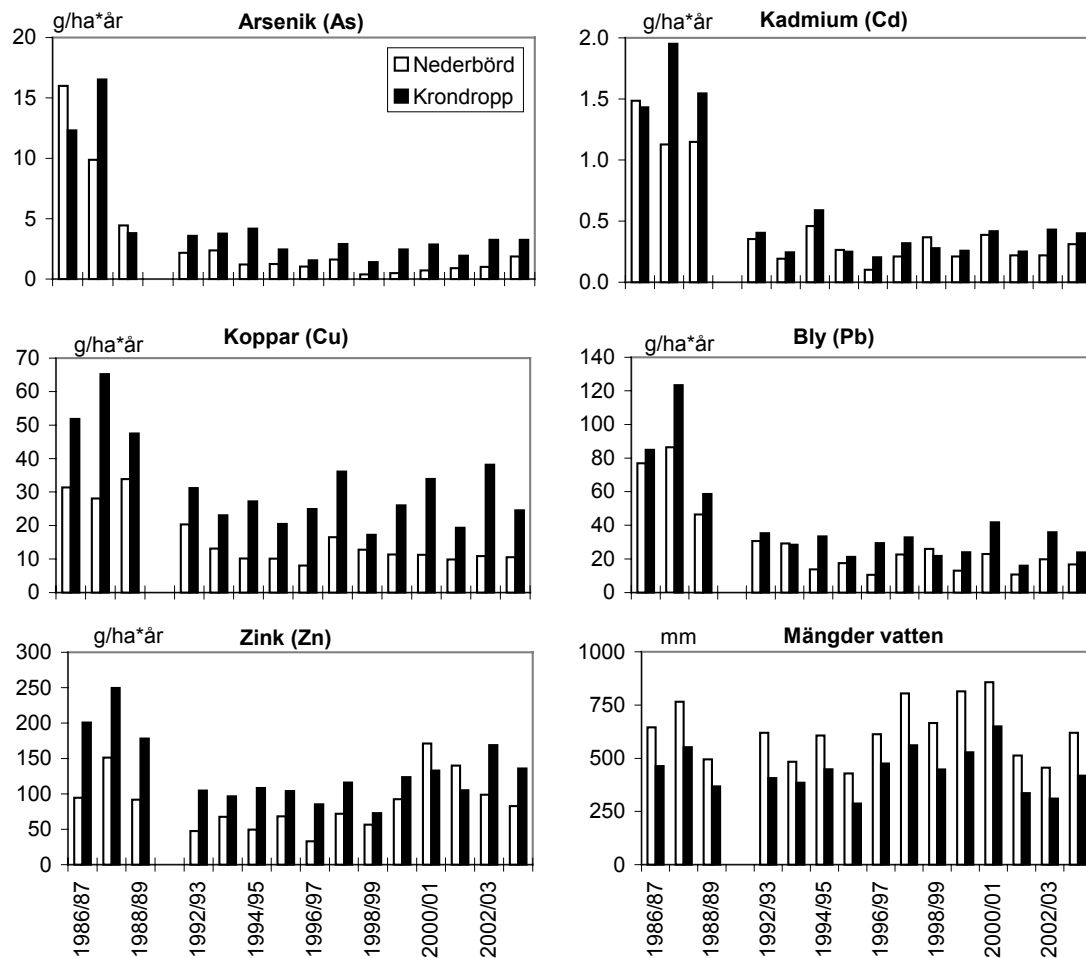
Figur 2: Deposition av svavel, klorid och kvävekomponenter på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2003/04. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Deposition av kloridjoner har inte förändrats nämnvärt på öppet fält och speglar mest väderrelaterade fluktuationer. Krondropsdeposition av kloridjoner har konsekvent varit högre än på öppet fält, vilket beror på att kloridjoner ofta är associerade med partiklar som effektivt fastnar på trädskronans stora blad- och grenyta. En stor del av den nederbörden som fallit i trädskronan avdunstar och därmed blir koncentrationer av mindre flyktiga ämnen vanligen höjda i krondroppet. Den svaga ökningen av krondroppets kloriddeposition efter 1999 kan vara orsakat av den högre exponeringen av krondropsytan för nordostliga vindar genom skogsavverkningar i den riktningen.



Figur 3: Deposition av i trädkronan interncirkulerande ämnen kalcium (Ca), kalium (K) och mangan (Mn) på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2003/04. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Kvävedepositionen i form av krondropp till skogsmarken har generellt varit liten (figur 2), vilket betyder att det mesta av nederbördens bidrag av kväve tas upp i träden. Det effektiva upptaget av kväve motsvaras även av en stor interncirkulation av kalium (K) och mangan (Mn) i trädet. Dessa ämnen deltar sannolikt i processer där upptag av kväve sker i kronan och resultatet blir ett omfattande läckage av K och Mn från barren som sedan återfinns i krondroppet (figur 3). Även kalcium (Ca) interncirkuleras, normalt så att en nettoläckage uppstår från trädkronan. Kalciumutlakningen är oftast nära kopplat till depositionen av försurande luftföroreningar, främst torrdepositionen av svavel. Med skillnaden mellan krondroppet och nederbörden på öppet fält, vilket ger ett grovt mått på torrändelen av svaveldeposition, finner vi ett svagt samband ($R^2 = 0,6$) mellan Ca i krondroppet och torrdeposition av svavel.

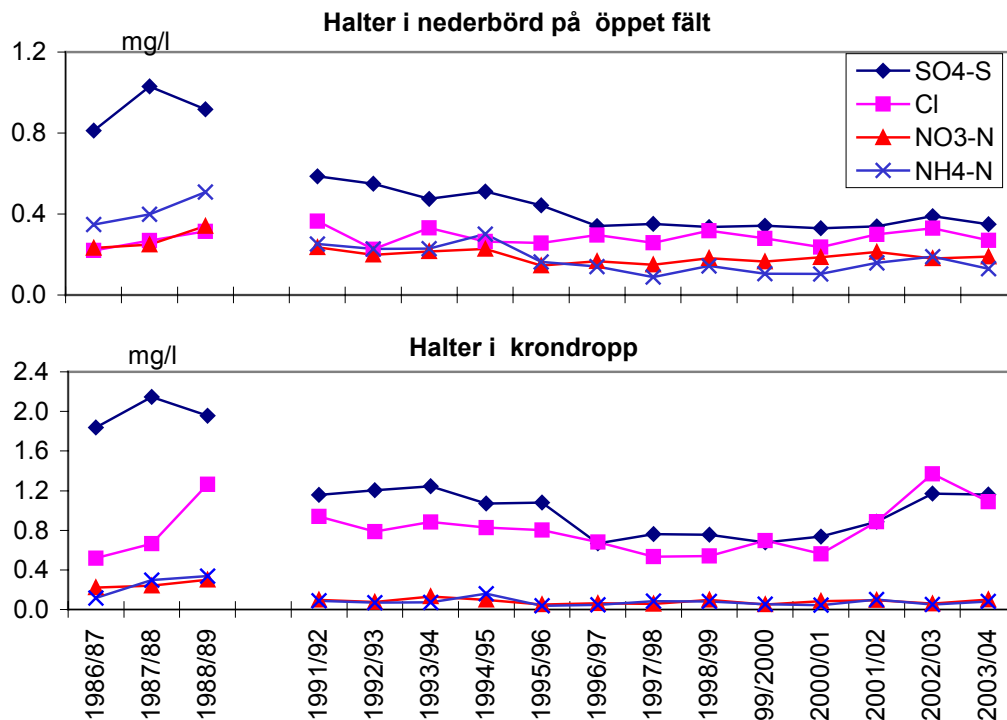


Figur 4: Deposition av arsenik och metallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) vid Holmsvattnet mellan oktober 1986 och september 2004. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92.

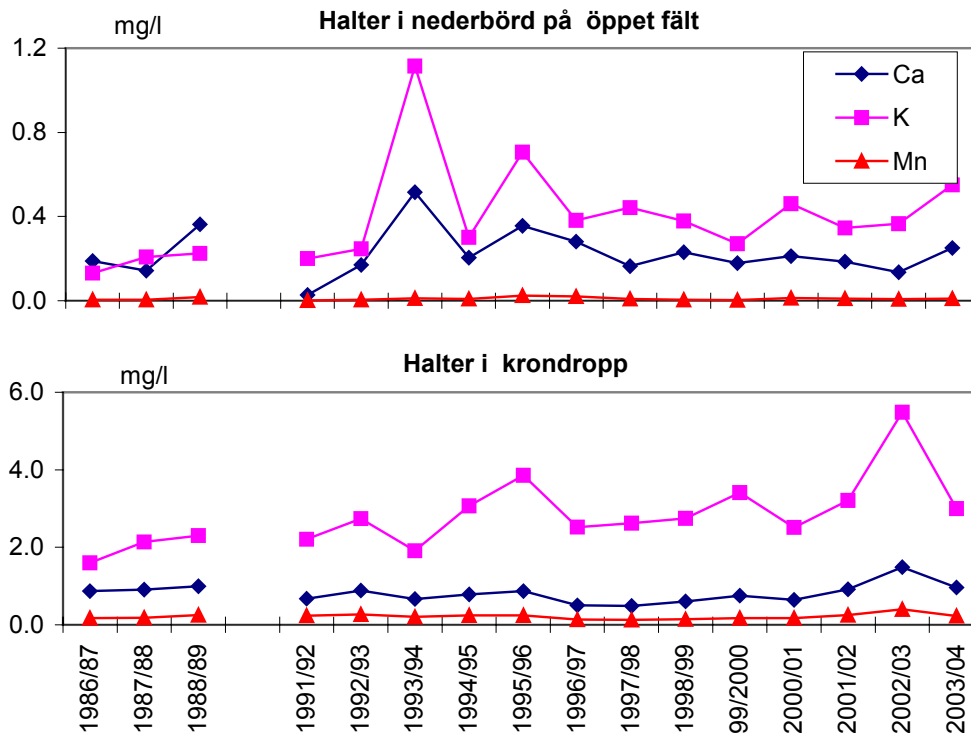
Figur 4 visar depositionen av arsenik och ett urval metaller i nederbörd och kronddropp. Se för jämförelse med avrinning figur 11 i avsnitt 3.5. Depositionen av arsenik samt undersökta metaller på öppet fält har minskat kraftigt sedan slutet av 1980-talet. Minskningen av koppar och zink i depositionen var något mindre, jämfört med de andra metallerna. Mängder av metallerna kadmium, krom och bly vid Holmsvattnet ligger i nivåer med bakgrundsstationer (Bredkälven, Arup, Aspveten och Gårdsjön) inom den nationella miljöövervakningen samt två ytterligare lokaler med öppet fältmätningar av metallnedfallet (Visingsö och Mjölsta). Även i denna jämförelsen uppvisar koppar och zink något större mängder vid Holmsvattnet.

3.3. Haltvariation

Svavelhalterna (figur 5) har minskat successivt mellan 1986 och 1996, både i nederbörd och i krondropp. Sedan 1996 har halterna av svavel och kväve i nederbörd legat på ungefär samma nivå. Svavel- och kloridhalterna i krondropp har blivit högre de senaste åren, vilket mest troligen beror på den ökade exponeringen av skogsytan för nordostliga vindar (se metodavsnittet 2.1).



Figur 5: Volymvägda medelhalter av svavel, klorid och kvävekomponenter på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2003/04. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.



Figur 6: Volymvägda medelhalter av kalcium (Ca), kalium (K) och mangan (Mn) på öppet fält och i krondropp vid Holmsvattnet för hydrologiska åren 1986/87 till och med 2003/04. Notera att olika skalor används. Ett mätavbrott skedde under åren 1989-92.

Kvävehalterna i krondropp har varit fortsatt låga, vilket indikerar omfattande upptag och omvandling av oorganiskt kväve i trädkronorna. Kloridhalten varierar mellan åren, vilket till största delen beror på de växlande väderförhållandena.

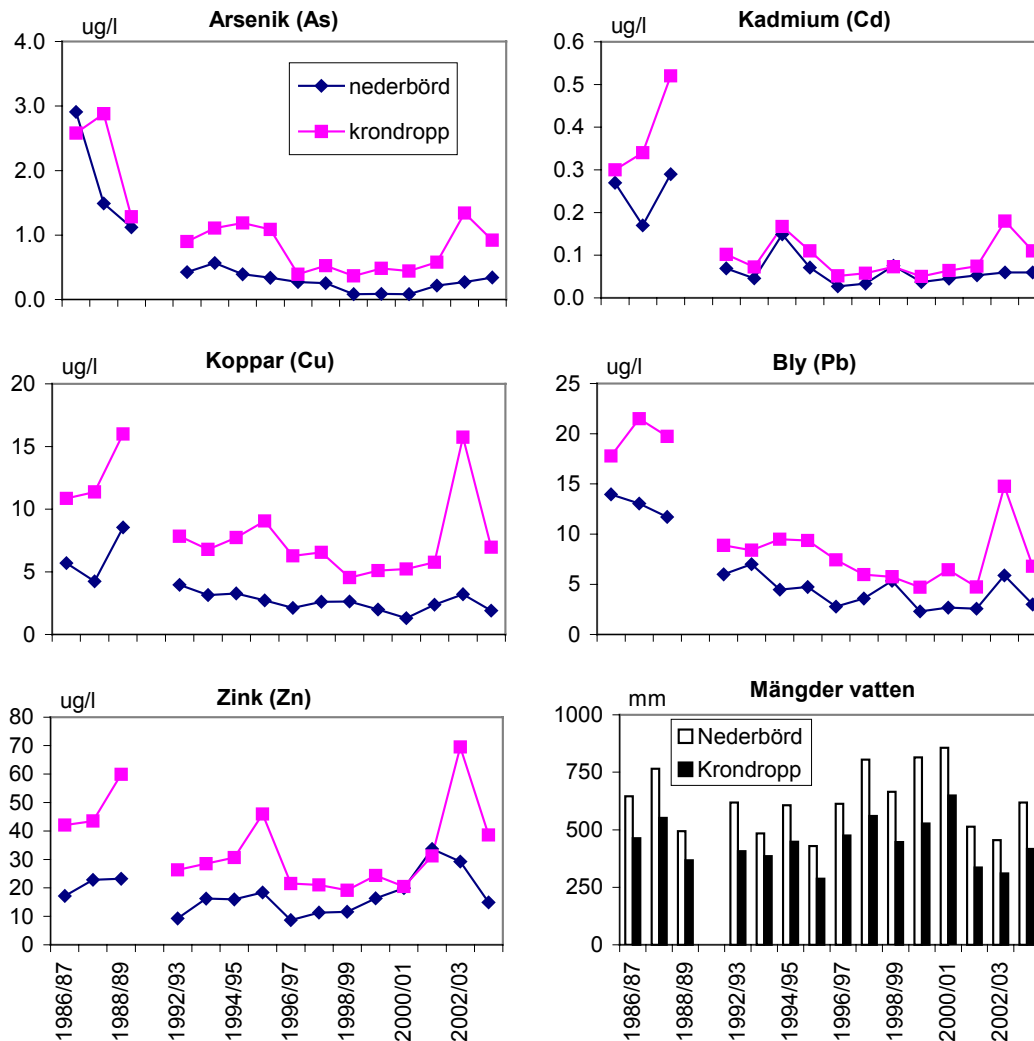
Metallhalterna i krondropp är vanligen något högre än de i nederbörd, beroende på tidigare nämnda orsaker; avdunstningen av nederbörd i trädkronan samt effektiv partikelbunden adsorption på den stora blad- och grenytan i trädkronan. De generellt högre koncentrationer av metaller i krondropp under främst det föregående året beror på den förhållandevis låga nederbörds mängden. Under 2003/04 minskade haltarna igen när nederbörden ökade, jämfört med 2002/03. Partikelbundna metaller kan koncentreras genom att en större andel av nederbörden som faller i skogens trädkronor avdunstar. Kvar blir partiklarna som sköljs ner av övriga nederbörds mängden som krondropp. Den minskande belastningen i Holmsvattenområdet av svavel, och i mindre utsträckning kväve, är sannolikt ett resultat av en minskad regional bakgrundsbelastning, där lägre svavelutsläpp från Rönnskärsverken kan ha bidragit. Depositionsminskningen av metaller och arsenik i området är sannolikt orsakad av utsläppsminskningar vid Rönnskärsverken i första hand, men även här har det skett en viss minskning av den regionala bakgrundsbelastningen. Bakgrundsbelastningen av framförallt bly och kadmium har minskat kraftigt i hela Sverige. Halterna av metaller och arsenik i nederbörd från

Holmsvattnet är i genomsnitt låga, i krondropp låga eller måttligt höga (gäller endast koppar och zink).

En stor del av ökningen av kaliumhalterna i krondropp (figur 6) mellan slutet av 1980-talet och de senaste åren beror sannolikt på att depositions­mätningarna efter 1992 koncentrerades till en provyta med äldre granskog. Den stora kronbiomassan i skogsytan bidrar till ett omfattande läckage från barren, vilket är normalt.

Volymvägda medelkoncentrationer av metaller i nederbörd på öppet fält kompenserar i viss mån för nederbördsskillnader mellan åren (figur 7), vilket underlättar jämförelser (bilaga 1, tabell 2). Under det senaste året (2003/04) i undersökningen har halterna av krom och nickel i nederbörd varit på samma nivå som bakgrundsstationer i mellersta och norra Sverige (jämför resultat från det nationella nederbörds­kemiska nätet, <http://www.ivl.se/miljo>). Arsenik, bly koppar och zink uppvisade dock något högre halter vid Holmsvattnet jämfört med bakgrundsstationerna inom den nationella miljö­övervakningen samt Visingsö (Liljergren 2005). Inom den nationella miljö­övervakning­en saknas för närvarande referenslokaler för deposition av metaller längs norrlands­kusten, men vissa jämförelser kan göras med EMEPs (www.emep.int) mätstationer i norra Finland och Norge (tabell2).

Pallas kustnära i Finland tvärs över Bottenviken från Rönnskär uppvisar likartade halter som vid Holmsvatten och bakgrundslokalen Bredkälén i centrala Jämtland. Pallas har dock jämfört med Holmsvatten något högre halter av arsenik och krom, samt något lägre halter av koppar, bly och zink i genomsnitt under perioden 1999 till 2001. Nederbörden vid Pallas var dock låg vilket gör att de­positionen av tungmetaller blir lägre jämfört med den nederbördsrika lokalen vid Holmsvatten. Bredkälén hade under samma period något lägre halter än både Pallas och Holmsvatten, med undantag för krom och zink. Mätstationen Svanvik i nordligaste Norge på gränsen till Ryssland är påverkad av utsläpp från metallindustri, främst i Nickel 9 km sydost om Svanvik, och uppvisar kraftigt förhöjda halter av främst arsenik, koppar och nickel under 1999-2001 (tabell2).



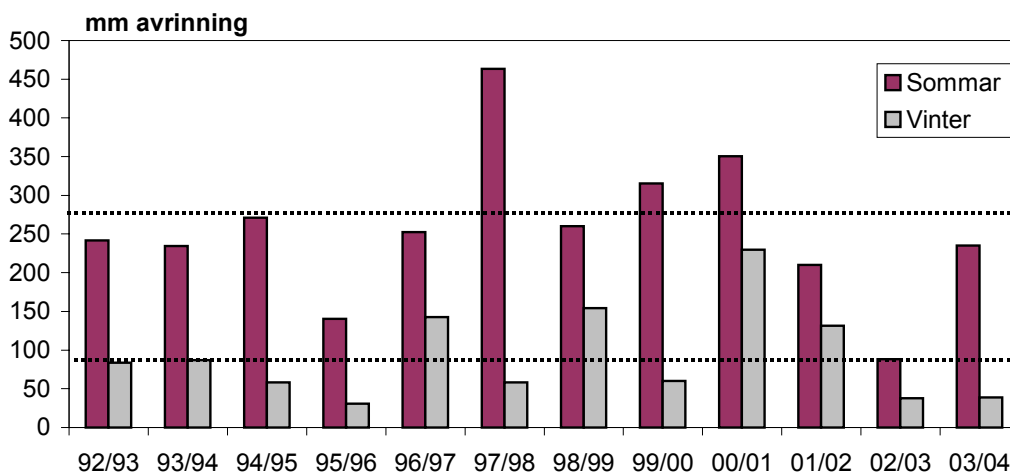
Figur 7: Volymvägda medelkoncentrationer av arsenik (As) och metallerna kadmium (Cd), koppar (Cu), bly (Pb) och zink (Zn) i nederbörd och krondropp vid Holmsvattnet mellan oktober 1986 och september 2004. Ett mätavbrott skedde åren 1989-92.

Tabell 2. Genomsnittliga (1999-2001), volymvägda halter (av vissa tungmetaller i nederbörd på öppet fält på fyra platser i norra Skandinavien. Jämförande data kommer från EMEPs mät-databas (www.emep.int).

	Holmsvatten	Bredkälven	Pallas	Svanvik
Nederbörd mm	761	606	372	406
Arsenik	0.09	0.08	0.13	1.76
Kadmium	0.04	0.04	0.05	0.12
Krom	0.05	0.18	0.10	0.30
Koppar	1.65	0.95	1.00	17.49
Nickel	0.24	0.20	0.23	15.76
Bly	2.49	0.67	1.51	1.73
Zink	18.1	9.9	5.7	7.2

3.4. Avrinning

Transporten av olika ämnen genom bäcken uppvisar skillnader mellan de undersökta hydrologiska åren (bilaga 1, tabell 5). Utlakningen till bäcken ut ur avrinningsområdet av de flesta makrokonstituenterna var likartad under de olika perioderna, men ämnen som påverkas av surhetsgraden i marken som omger bäcken (Ca, Mg, Na, K, Fe, Al m fl.) har svagt reagerat på den minskade syrabelastningen från luften. Detta kan även ses i volymvägda medelkoncentrationer under 2003/04 som var snarlikt de under 2002/03 (bilaga 1, tabell 6). Utlakningen av sulfat har minskat, även om minskningen ännu så länge är mindre än den i depositionen. I en analys av avrinningens fördelning under säsonger visas att den vanligaste situationen är den största delen av avrinningen sker under sommarhalvåret, då risker för ekologiska effekter är relativt stora samtidigt som biokemiska omvandlingsprocesser är mest aktiva. Under sommarhalvåret står våren (april till maj) för huvuddelen av avrinningen, drygt 60 % 2003/04. Avrinningen under 2003/04 var något lägre jämfört med tidigare år, framförallt under vinterhalvåret (figur 8).

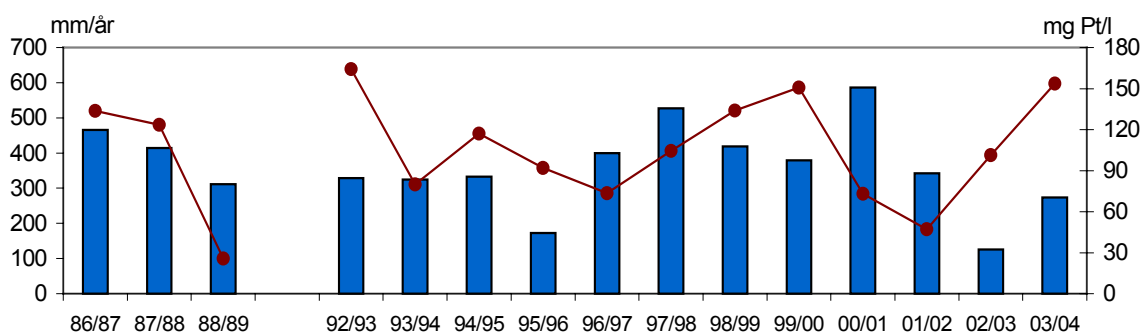


Figur 8: Fördelning av mängder avrinning vid Ostvik (Storbäcken) mellan sommar- (apr. t o m. sep) och vinterhalvåret (okt. t o m. mars) för perioder mellan 1992 och 2004. Streckade linjer indikerar sommar (255 mm) resp. vintermedelvärdet (93 mm) för samtliga år.

Bäckens genomsnittliga pH ökade under sent 1980-tal, vilket sannolikt beror på den minskade depositionen av försurande luftföroreningar. En abrupt pH höjning skedde under 1995/96 och sommaren 2002, troligen till följd av de låga nederbördsmängderna som föll då. Under den tiden kom den största delen av bäckvattnet troligen ifrån djupare grundvatten med något högre pH-värden, det så kallade basflödet. Det ger både ett högre pH-värde samt lägre transporter av ämnen ifrån det översta markskiktet. Efter 1992 har pH värdena i bäcken varit ganska lika de i början av mätningarna på 1980-talet. Den rikliga nederbörden och relativt höga avrinningen under sommaren 2001 resulterade sannolikt i en förhållandevis omfattande vattentransport i ytliga marklager som är surare

på grund av organiska ämnen (humussyror) och tidigare nedfall av sura luftföroreningar. Under hydrologiska året 2003/04 var pH-värdena mycket låga under vårflo den i april och maj, vilket även påverkar årsmedelvärdet kraftigt eftersom avrinningen var hög de månaderna. Detta avspeglas även i den relativt höga vattenfärgen i bäcken (figur 9). pH-värdet styr i hög grad hur vattenlösliga metallerna är, men metallerna tenderar att adsorberas på humusämnen. Höga humushalter (hög vattenfärg) kan därför minska risken för biologiska störningar av metaller i vattendraget. Den omvända situationen är också att en generell låg vattenfärg kan innebära att metaller kan orsaka biologiska störningar vid lägre halter. Vattenfärgen i bäcken under det senaste året klassades som tillståndsklass 3 till 4, måttligt till betydligt färgat vatten enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (1999, tabell 12). Årets låga halter av de flesta undersökta metallerna i bäcken vid Holmsvattnet har sannolikt inte orsakat några biologiska störningar med rådande surhets- och färgförhållanden.

Vattenfärgen, som grovt indikerar hur mycket organiskt material (humus) transporteras i bäcken, varierar från år till år och det finns ett samband mellan vattenföring och färgtal. Avrinningens intensitet som påverkar humusmängden i vattnet, påverkar i sin tur halterna och transportererna av andra ämnen, främst metaller som i stor utsträckning är bundna till organiskt material. En svag omvänd samvariation noteras för mängden nederbörd på öppet fält och den genomsnittliga vattenfärgen i bäcken. Den högsta avrinningen och den högsta nederbördsmängden som noterats under alla undersökta år noterades 2000/01. Det medförde att koncentrationen av de transporterade humusämnen var lägre än tidigare år. Undantaget var den låga vattenfärgen 1988/89 som kan indikera att bäcken främst matades med djupare grundvatten, vilket även orsakade låg vattenfärg under 2001/02 och 2002/03 (figur 9). Det senaste hydrologiska året uppvisar i förhållande till åren innan ett högt färgtal.

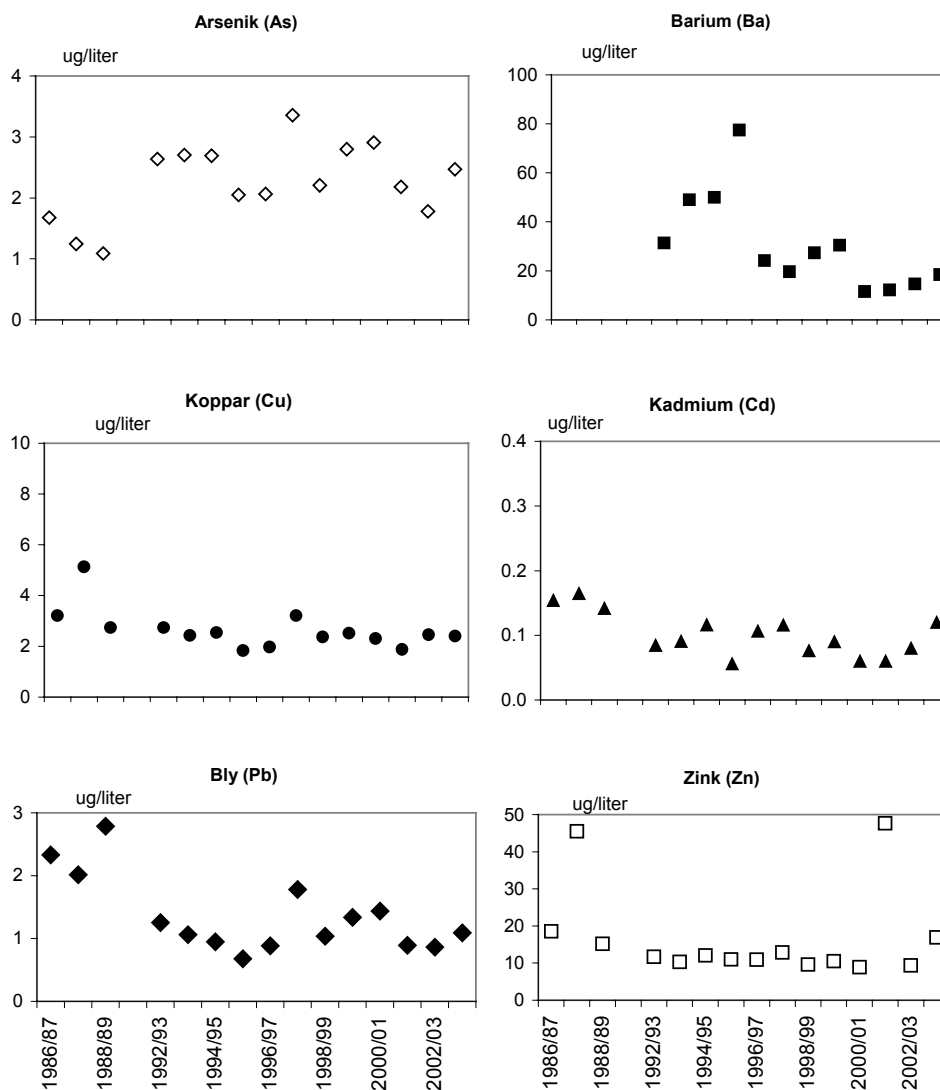


Figur 9: Årlig (hydrologiska år) avrinningsmängd (staplar, mm/år) och medelvattenfärg (heldragen linje, mg Pt/l) i bäcken vid Holmsvattnet. Medelavrinningen för samtliga år (382 mm) anges med den streckade linjen.

År 1997/98 hade hög avrinning i relation till nederbördsmängden. Avrinning styrs förutom av mängden nederbörd även av hur mycket vatten som finns lagrad i grund-

vattenmagasinet. Under året 1995/96 var grundvattennivåerna i norra Sverige mycket under normalt, medan de under 1997/98 var över normalt. Högre mättnadsgrad i marken med grundvatten leder sannolikt till ökad utlakning av vattenlösliga ämnen till ytvatten. Om däremot avrinning till stor del består av djupare grundvatten minskar transporten av organiska ämnen i bäcken. I vissa fall kan vattenfärgen vara hög, även vid låga vattenflöden, som till exempel 1999/00. Detta kan orsakas av höga halter järn och mangan som färgar vattnet. Högre pH i marken minskar vanligen vattenlösligheten av metaller, vilket innebär att metallerna ligger hårdare bundna till mineralpartiklarna i marken.

Under det senaste mätåret har de volymvägda medelhalter av arsenik och Cu, Cd, Pb och Zn varit låga, men något högre än föregående år på grund av den högre avrinningen. (figur 10 samt tabell 6 i bilaga 1).



Figur 10: Volymvägda årsmedelvärden av halter av arsenik och metaller i avrinning från Holmsvattenområdet nära Rönnskärsverken för hydrologiska åren 1986/87 t o m 2003/04.

Enligt Naturvårdsverkets bedömningsgrunder (2000, tabell 18) faller halterna av flertalet metaller (Cu, Zn, As, Pb, Cr, Ni) i bäcken vid Holmsvattnet (volymvägda medelvärden) i klass 2 låga halter under 2003/04. Undantag under 2003/04 var kadmium med halter i klass 3, måttligt höga halter.

Risken för biologiska effekter i klass 2 beskrivs som:

"Små risker för biologiska effekter. Majoriteten av vattnen inom denna klass har förhöjda metallhalter till följd av utsläpp från punktkällor och/eller långdistansspridning. Klassen kan dock inrymma halter som är naturliga i till exempel geologiskt avvikande områden".

Under perioden 1986 till 1989 placerade sig metallhalterna i bäcken i klass 3, måttligt höga halter, med undantag för arsenik som även då var i klass 2. Risken för biologiska effekter i klass 3 beskrivs som:

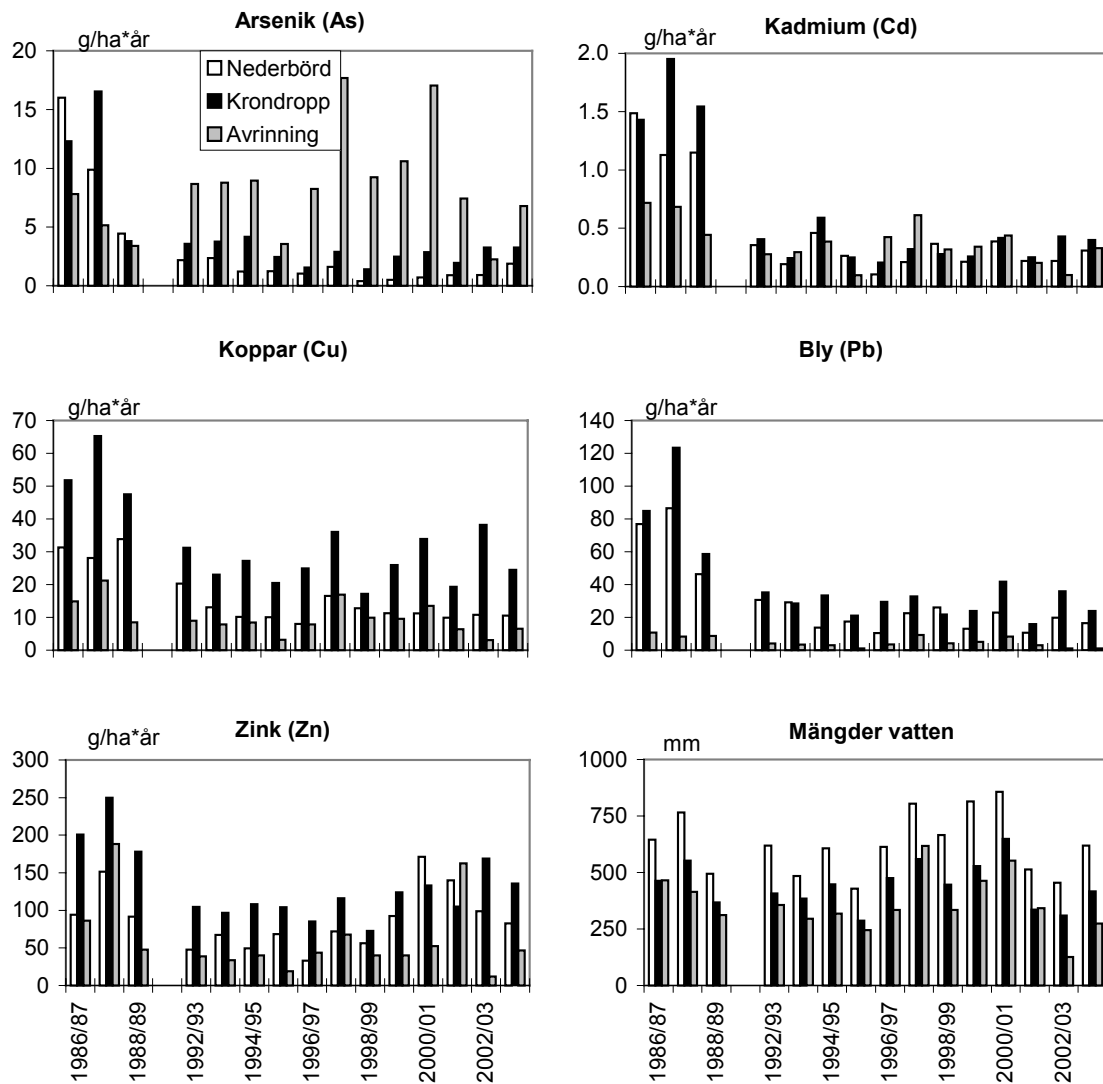
"Effekter förekommer i känsliga vatten. Risken är störst i mjuka, närings- och humusfattiga vatten, samt i vatten med lågt pH-värde. Med effekter menas här påverkan på arter eller artgruppers reproduktion eller överlevnad i tidiga livsstadier, vilket ofta yttrar sig som en minskning av artens individantal. Minskat individantal kan medföra återverkningar på vattnens organismsamhällen och på hela ekosystemets struktur".

3.5. Jämförelse mellan deposition, halter och avrinning

Både utlakning och halter i bäckvattnet påverkas av hydrologiska skillnader mellan åren. Detta är framför allt tydligt under 1995/96 samt 2002/03 med låg avrinning och 1997/98 och 2000/01 med hög avrinning. År med hög avrinning sker en stor del av vattentransporten i ytliga marklager där de högsta halterna av upplagrade metaller befinner sig. Uttransporten av organiskt material för med sig även metaller, i synnerhet arsenik, kalcium, koppar och bly med stark bindning till organiska ämnen. Det senaste mätåret 2003/04 uppvisar en förhållandevis hög kvot mellan nederbörds och avrinning (tabell 7 i bilaga 1), vilket innebär att en stor andel av nederbörden inte nådde fram till bäcken. Då var den ytliga vattentransporten inte stor och metalltransporterna blev måttliga. Deponerade mängder metallföreningar under sådana förhållanden lagras i övre markskiktet.

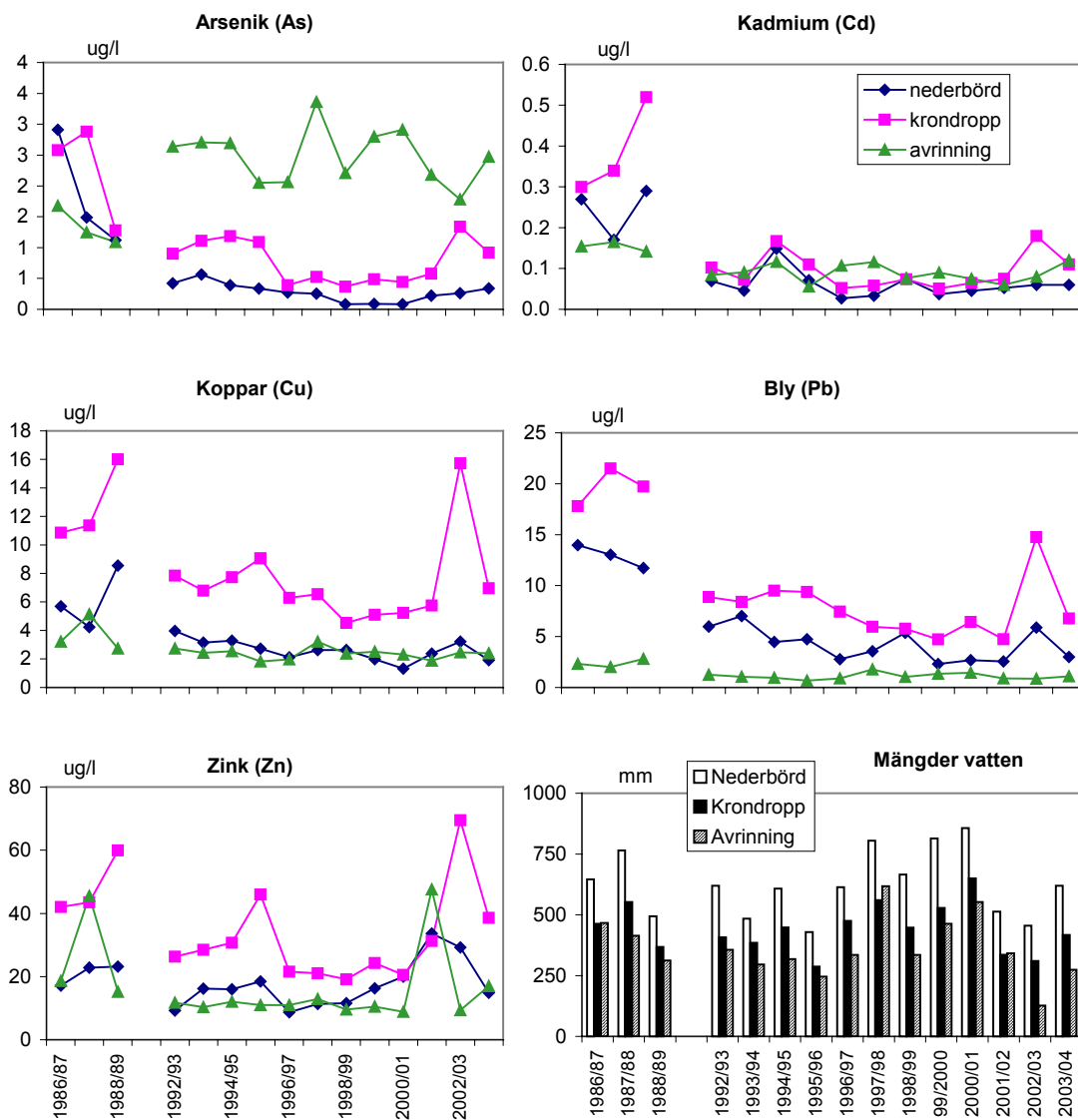
Utlakningen, och de volymvägda medelkoncentrationerna, av kadmium, koppar och bly har minskat 2003/04, jämfört med perioden 1986 till 1989 (figur 11). Huvuddelen av minskningen skedde i skarven mellan de olika undersökningsperioderna. Den minskade utlakningen av kadmium i avrinningen jämfört med tidigare, är sannolikt en kombination av minskad deposition, samt något minskad surhet i mark och vatten.

Utlakningen av arsenik, med låga genomsnittliga halter ($< 5 \mu\text{g/liter}$), har tidigare år varit ganska omfattande (figur 9 och tabell 5 i bilaga) men var under 2002/03 liten. Under 2003/04 ökade dock utlakningen igen till motsvarande nivåer som tidigare år. Det styrkar tidigare antaganden (Knulst och Westling, 2002) att det är markprocesser som ligger bakom arsenikens utlakning till bäcken. Den mest troliga förklaringen kan finnas i att organiska syror har sin största adsorptionsförmåga för arsenikföreningar vid en pH omkring 5,5 (Thanabalasingam och Pickering, 1986). Under åren mellan 1999 och 2001 var förhållanden sådana att en maximal transport av organiska syror, med pH värden i bäcken strax över 5,5 ledde till omfattande borttransport av arsenikföreningar från skogsmarken, medan 2002/03 uppvisade ett betydligt högre pH-värde och därmed en mindre arsenikutlakning. Det senaste årets basflödet i bäcken visade liknande pH-värde som under 1999 till 2001. Halterna av arsenik i bäcken ökade därmed igen.



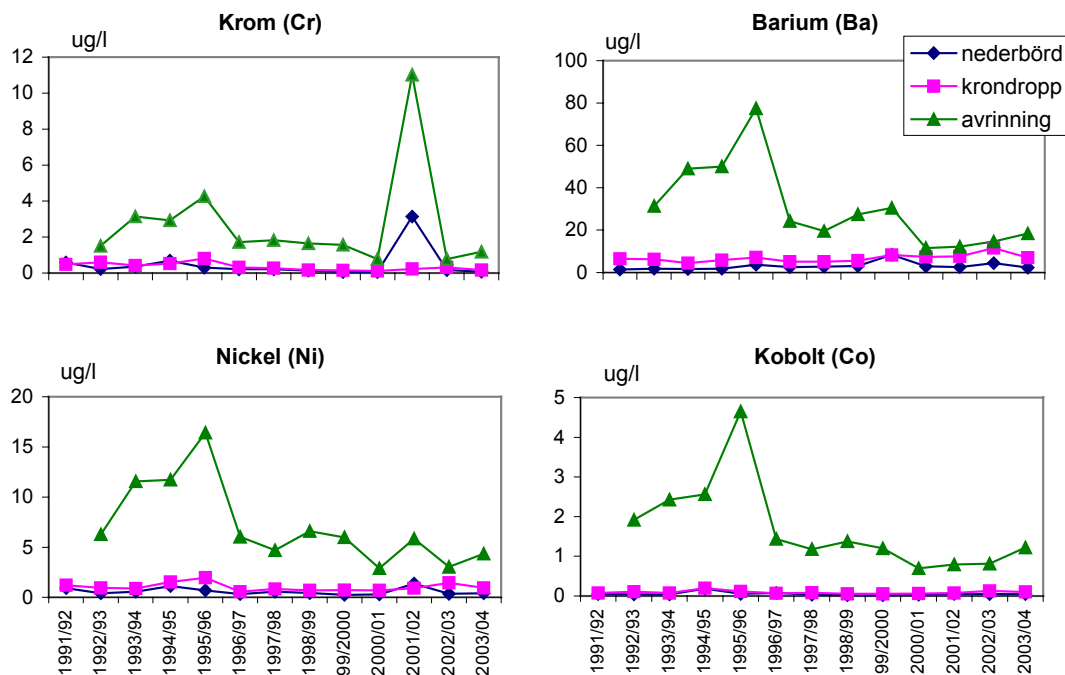
Figur 11: Metalltransporter (g/ha och hydr. år) i nederbörd, krondropp och avrinning vid Holmsvattnet. Mängder vatten (mm/år) anges som referens.

Figur 12 visar tidsutvecklingen för volymvägda halter av arsenik och ett urval av övriga metaller i nederbörd, krondropp och avrinning. De högsta halterna påträffas som regel i krondroppet därför att metallerna oftast är associerade med partiklarna i torrdepositionsandelen av nedfallet. Undantag är arsenik på 1990-talet där de högsta halterna noteras i avrinningen. Kadmiumhalterna är relativt lika mellan åren i de olika provtyperna efter 1989, med undantag för en viss förhöjning i deposition 1995. De övriga metallerna visar generellt låga halter i både bäckvatten och deposition. Koppar och zink visar en mycket svagt uppåtgående trend i deposition som inte återspeglas i bäckens transporter.



Figur 12: Volymvägda årsmedelvärden av halter i nederbörd på öppet fält och i krondropp samt avrinning av arsenik och metaller vid Holmsvattnet (hydrologiska år).

Trots den kraftiga minskningen av metalldepositionen var utlakningen för metallerna mindre än deras deposition. Inga tydliga trender finns för metalldeposition eller avrinning efter 1992. Kadmium uppvisade högre utlakning än deposition sedan 1997 med undantag av 2002/03 då de ligger på samma nivå. Zinkutlakningen överskred deposition något under 2001/02, men 2002/03 överskred depositionen den låga borttransporten i bäcken och likaså under 2003/04. Arsenik utlakningen från avrinningsområdet var mycket högre än depositionen till skog (figur 11 och bilaga 1, tabell 5) speciellt under perioden 1997 till 2002. Under 2002/03 uteblev den förhöjda utlakningen från marken, men ökade igen under 2003/04.



Figur 13: Haltvariationer (hydrologiska årsmedelvärden) av krom, barium, nickel och kobolt i nederbörd, krondropp och avrinning från Holmsvattenområdet

Efter 1991 har även andra metaller analyserats (figur 13 samt tabellerna 1-6 i bilaga 1); barium (Ba), kobolt (Co), krom (Cr) och nickel (Ni). Dessa metaller är troligen inte direkt kopplade till utsläpp från Rönnskärsverken och kan därför visa på en generell utveckling av metallhalterna i nederbörd, krondropp och bäcken vid Holmsvattnet. Våra mätningar visar på en minskning i belastningen, både med avseende på deposition och avrinning. Här utmärker sig främst 1994-1996 med något högre deposition i form av nederbörd och krondropp samt avrinning av metaller än andra år under 1990-talet. Kobolt, krom och nickel förekommer, trots minskningen, vid högre koncentrationer än de av Naturvårdsverket (1999, tabell 24) uppskattade bakgrundshalterna i rinnande småvatten i norra Sverige under samtliga mätår.

4. Referenser

- Analytica AB. Produktkatalog 2003. Luleå, 2003. s. 90.
- IVL Svenska Miljöinstitutet, 2004. <http://www.ivl.se/miljo/> Datavärdskap för miljödata.
- Liljergren A. 2005. Nederbördskemisk undersökning av tungmetaller på Visingsö 2004. Uppdragsrapport åt Vätternvårdsförbundet, IVL Göteborg.
- Knulst, J C. och Westling, O. 2004. Deposition och avrinning av metaller, svavel och kväve vid Holmsvattnet nära Rönnskärsverken 1986 - 2003. IVL-rapport B 1581.
- Länsstyrelsen i Stockholms län. 2003. Nedfall av tungmetaller och kvicksilver. Resultat från mätningarna vid Mjölsta i Stockholms län åren 1993-2001. Rapport 2003:11, Miljö- och Planeringsavdelningen, Stockholm.
- Naturvårdsverket, 1999. Bedömningsgrunder för miljö kvalitet. Sjoar och vattendrag. NV rapport 4913. Naturvårdsverkets Förlag, Stockholm.
- Thanabalasingam, P. och Pickering, W. F. 1986. Arsenic sorption by humic acids. Environmental Pollution (Series B) 12: 233-246.
- Westling, O. och Larsson, P-E. 1991. Miljöpåverkan från metallemitterande industri - Deposition och avrinning av tungmetaller, svavel och kväve i ett kontaminerat avrinningsområde nära Rönnskärsverken. IVL-rapport B 1028.

Bilaga 1. Årlig deposition, avrinning och medelhalt

Tabell 1: Deposition i form av nederbörd på öppet fält vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		03/04	02/03	01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
H ⁺	kg/ha	0,09	0,05	0,06	0,13	0,10	0,13	0,18
Ca	kg/ha	1,39	0,57	0,77	1,31	1,14	1,22	1,14
Mg	kg/ha	0,59	0,26	0,33	0,62	0,64	0,45	0,20
Na	kg/ha	2,13	0,97	1,45	1,87	1,62	1,22	0,89
K	kg/ha	3,04	1,68	1,44	2,45	2,29	2,28	0,99
SO ₄ -S	kg/ha	1,94	1,78	1,74	2,62	2,27	2,93	5,89
Cl	kg/ha	1,47	1,51	1,54	2,14	1,67	1,53	1,68
NO ₃ -N	kg/ha	1,04	0,84	1,09	1,38	0,95	1,22	1,70
NH ₄ -N	kg/ha	0,70	0,87	0,82	0,90	0,76	1,45	2,60
Fe	kg/ha	0,09	0,09	0,16	0,10	0,10	0,10	
Mn	kg/ha	0,07	0,03	0,03	0,05	0,07	0,03	0,04
Al	kg/ha	0,07	0,18	0,08	0,08	0,09	0,08	
As	g/ha	1,87	1,02	0,90	0,54	1,30	1,92	10,11
Ba	g/ha	12,51	17,32	10,43	28,24	13,72	7,12	
Cd	g/ha	0,31	0,24	0,22	0,32	0,19	0,34	1,25
Co	g/ha	0,30	0,21	0,23	0,16	0,24	0,31	
Cr	g/ha	0,43	0,64	13,06	0,48	1,07	1,59	
Cu	g/ha	10,58	11,62	9,88	11,77	11,57	14,51	31,11
Ni	g/ha	2,27	1,38	5,70	1,95	2,41	2,63	
Pb	g/ha	16,63	20,51	10,65	20,66	16,91	24,55	69,92
Zn	g/ha	82,53	102,27	140,04	106,60	57,76	54,79	112,40

Tabell 2: Volymvägda medelhalter i nederbörd på öppet fält vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		03/04	02/03	01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
pH		4,79	4,96	4,93	4,75	4,70	4,75	4,55
Ca	mg/l	0,25	0,15	0,19	0,19	0,23	0,36	0,23
Mg	mg/l	0,11	0,07	0,08	0,09	0,11	0,16	0,04
Na	mg/l	0,39	0,25	0,35	0,36	0,30	0,37	0,17
K	mg/l	0,55	0,43	0,35	0,37	0,40	0,71	0,19
SO ₄ -S	mg/l	0,35	0,39	0,34	0,34	0,34	0,48	0,92
Cl	mg/l	0,27	0,33	0,30	0,26	0,29	0,28	0,27
NO ₃ -N	mg/l	0,19	0,18	0,21	0,18	0,17	0,20	0,27
NH ₄ -N	mg/l	0,13	0,19	0,16	0,10	0,12	0,23	0,42
Fe	mg/l	0,02	0,02	0,04	2,75	0,02	0,03	
Mn	mg/l	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al	mg/l	0,01	0,05	0,02	0,01	0,02	0,02	
As	ug/l	0,34	0,26	0,22	0,09	0,20	0,43	1,84
Ba	ug/l	2,26	4,41	2,51	4,48	2,82	2,32	
Cd	ug/l	0,06	0,06	0,05	0,04	0,05	0,09	0,24
Co	ug/l	0,05	0,05	0,06	0,03	0,04	0,09	
Cr	ug/l	0,08	0,16	3,14	0,05	0,18	0,45	
Cu	ug/l	1,91	2,96	2,37	1,65	2,46	3,05	6,16
Ni	ug/l	0,41	0,35	1,37	0,24	0,43	0,79	
Pb	ug/l	3,00	5,22	2,56	2,49	3,90	5,40	12,91
Zn	ug/l	14,88	26,04	33,67	18,12	10,55	16,87	21,04

Tabell 3: Deposition i form av kronddropp i granskog vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		03/04	02/03	01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
H ⁺	kg/ha	0,06	0,06	0,04	0,08	0,09	0,11	0,23
Ca	kg/ha	3,38	3,62	3,39	3,41	2,21	2,85	4,10
Mg	kg/ha	1,31	1,56	1,29	1,41	0,95	1,19	1,22
Na	kg/ha	2,29	1,63	3,26	2,67	2,45	1,71	2,10
K	kg/ha	10,58	13,31	16,74	14,70	11,04	9,39	8,89
SO ₄ -S	kg/ha	4,08	3,63	2,98	3,91	3,51	4,83	9,19
Cl	kg/ha	3,85	4,23	2,98	3,24	2,84	3,43	3,58
NO ₃ -N	kg/ha	0,36	0,19	0,32	0,41	0,25	0,41	1,15
NH ₄ -N	kg/ha	0,27	0,15	0,34	0,31	0,27	0,42	1,14
Fe	kg/ha	0,14	0,29	0,13	0,18	0,14	0,14	
Mn	kg/ha	0,80	0,97	0,85	0,78	0,65	0,88	0,87
Al	kg/ha	0,15	0,27	0,13	0,19	0,19	0,15	
As	g/ha	3,25	3,25	1,94	2,38	2,73	4,55	10,88
Ba	g/ha	24,79	35,83	25,69	31,43	18,89	21,66	
Cd	g/ha	0,40	0,43	0,25	0,34	0,35	0,32	1,64
Co	g/ha	0,36	0,42	0,25	0,34	0,41	0,33	
Cr	g/ha	0,63	0,98	0,77	0,95	1,63	1,88	
Cu	g/ha	24,50	38,21	19,32	29,06	24,21	30,02	54,84
Ni	g/ha	3,33	4,46	3,05	3,83	3,99	3,79	
Pb	g/ha	23,87	35,85	15,92	32,14	28,03	34,35	88,97
Zn	g/ha	135,74	168,92	104,96	107,19	99,15	96,50	209,46

Tabell 4: Volymvägda medelhalter i kronddropp i granskog vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		03/04	02/03	01/02	98/01 medel	95/98 medel	92/95 medel	86/89 medel
pH		4,77	4,75	4,92	4,80	4,57	4,63	4,32
Ca	mg/l	0,96	1,49	0,92	0,66	0,62	0,78	0,92
Mg	mg/l	0,37	0,64	0,41	0,27	0,28	0,33	0,27
Na	mg/l	0,65	0,67	0,56	0,52	0,65	0,47	0,50
K	mg/l	3,00	5,48	3,20	2,89	3,00	2,57	2,01
SO ₄ -S	mg/l	1,16	1,11	0,89	0,72	0,84	1,17	1,98
Cl	mg/l	1,09	1,37	0,89	0,60	0,67	0,83	0,82
NO ₃ -N	mg/l	0,10	0,06	0,09	0,08	0,06	0,10	0,25
NH ₄ -N	mg/l	0,08	0,05	0,10	0,06	0,06	0,10	0,25
Fe	mg/l	0,04	0,09	0,04	0,03	0,04	0,04	
Mn	mg/l	0,23	0,40	0,25	0,16	0,17	0,24	0,20
Al	mg/l	0,04	0,09	0,04	0,05	0,06	0,04	
As	ug/l	0,92	1,34	0,58	0,43	0,67	1,06	2,25
Ba	ug/l	7,04	11,56	7,64	5,55	5,71	5,53	
Cd	ug/l	0,11	0,18	0,07	0,06	0,07	0,11	0,39
Co	ug/l	0,10	0,13	0,08	0,05	0,09	0,13	
Cr	ug/l	0,17	0,32	0,23	0,12	0,45	0,51	
Cu	ug/l	6,96	15,73	5,75	4,95	7,30	7,46	12,74
Ni	ug/l	0,95	1,44	0,91	1,45	0,97	1,11	
Pb	ug/l	6,78	14,75	4,74	5,63	7,59	8,92	19,68
Zn	ug/l	38,57	69,50	31,24	21,32	29,51	28,49	48,50

Tabell 5: Transporterade mängder i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		'03/04	'02/03	'01/02	98/01	95/98	92/95	86/89
					medel	medel	medel	medel
Avrin	mm	274	126	342	461	366	327	397
H ⁺	kg/ha	0,010	0,002	0,004	0,020	0,010	0,010	0,010
Ca	kg/ha	7,37	3,96	7,66	9,66	9,67	7,74	10,75
Mg	kg/ha	3,20	1,60	3,27	4,20	4,23	3,42	4,67
Na	kg/ha	5,14	2,75	6,20	7,48	6,84	5,51	7,00
K	kg/ha	1,66	0,83	1,71	2,50	2,45	1,82	2,59
SO ₄ -S	kg/ha	7,57	3,50	5,96	8,14	9,32	7,41	11,28
Cl	kg/ha	3,17	1,69	3,17	3,67	3,76	3,33	3,26
NO ₃ -N	kg/ha	0,19	0,12	0,22	0,24	0,09	0,20	0,19
NH ₄ -N	kg/ha	0,08	0,02	0,06	0,05	0,04	0,15	0,07
Fe	kg/ha	1,85	0,78	2,61	3,70	2,91	2,07	2,58
Mn	kg/ha	0,08	0,03	0,07	0,09	0,09	0,07	0,39
Al	kg/ha	1,27	0,37	1,15	2,20	1,81	1,41	2,26
As	g/ha	6,78	2,24	7,43	12,30	9,82	8,80	5,46
Ba	g/ha	50,56	18,46	41,70	100,25	111,23	142,88	
Cd	g/ha	0,33	0,10	0,20	0,37	0,38	0,32	0,61
Co	g/ha	3,35	1,03	2,71	5,15	6,66	7,57	
Cr	g/ha	3,27	0,97	37,60	6,75	7,92	8,30	
Cu	g/ha	6,57	3,10	6,41	11,00	9,32	8,45	14,92
Ni	g/ha	11,87	3,82	19,97	22,98	25,73	32,37	
Pb	g/ha	2,98	1,08	3,06	5,94	4,69	3,57	9,30
Zn	g/ha	46,42	11,79	162,67	44,08	43,47	37,42	107,41

Tabell 6: Volymvägda medelhalter i avrinningen vid Holmsvattnet.

Hydrologiska år		'03/04	'02/03	'01/02	98/01	95/98	92/95	86/89
					medel	medel	medel	medel
pH		5,42	6,36	6,01	5,82	6,00	5,99	6,00
Ca	mg/l	2,69	3,14	2,24	2,11	2,81	2,36	2,73
Mg	mg/l	1,17	1,27	0,96	0,91	1,22	1,04	1,19
Na	mg/l	1,88	2,18	1,82	1,63	1,98	1,67	1,81
K	mg/l	0,61	0,66	0,50	0,53	0,67	0,55	0,67
SO ₄ -S	mg/l	2,76	2,78	1,75	1,77	2,67	2,25	2,87
Cl	mg/l	1,16	1,34	0,93	0,79	1,11	1,01	0,86
NO ₃ -N	mg/l	0,07	0,10	0,07	0,05	0,02	0,06	0,05
NH ₄ -N	mg/l	0,03	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	0,02
Fe	mg/l	0,67	0,62	0,76	0,77	0,81	0,63	0,65
Mn	mg/l	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02	0,09
Al	mg/l	0,46	0,29	0,34	0,48	0,45	0,43	0,57
As	ug/l	2,47	1,78	2,18	2,64	2,49	2,68	1,34
Ba	ug/l	18,45	14,65	12,21	22,24	40,41	43,43	
Cd	ug/l	0,12	0,08	0,06	0,08	0,09	0,10	0,15
Co	ug/l	1,22	0,81	0,79	1,11	2,41	2,30	
Cr	ug/l	1,18	0,77	11,01	1,45	2,59	2,53	
Cu	ug/l	2,40	2,46	1,88	2,40	2,34	2,57	3,69
Ni	ug/l	4,33	3,03	5,85	5,04	9,05	9,85	
Pb	ug/l	1,09	0,86	0,89	1,27	1,11	1,09	2,38
Zn	ug/l	16,94	9,36	47,63	9,67	11,59	11,38	26,42

Tabell 7: Nederbörd, krondropp och avrinning (mm/år) vid Holmsvattnet, Västerbotten. Avrinningsdata är tagna från SMHI referensvattendrag Storbäcken strax norr om Skellefteå. Kvoten mellan nederbörds-
mängden och avrinningen används för att tolka förutsättningar för vattentransporter.

Hydrologiska år	2003/04	2002/03	2001/02	98-01	95-98	92-95	86-89
				medel 3 år	medel 3 år	medel 3 år	medel 3 år
Nederbörd	619	455	513	761	550	624	635
Krondropp	417	310	336	512	403	431	461
Avrinning	274	126	342	442	366	327	397
Nedb/avrin kvot	2,3	3,6	1,5	1,7	1,5	1,9	1,6

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL är ett oberoende och fristående forskningsinstitut som ägs av staten och näringslivet. Vi erbjuder en helhetssyn, objektivitet och tvärvetenskap för sammansatta miljöfrågor och är en trovärdig partner i miljöarbetet.

IVLs mål är att ta fram vetenskapligt baserade beslutsunderlag åt näringsliv och myndigheter i deras arbetet för ett bärkraftigt samhälle.

IVLs affärsidé är att genom forskning och uppdrag snabbt förse samhället med ny kunskap i arbetet för en bättre miljö.

Forskning- och utvecklingsprojekt publiceras i

IVL Rapport: IVLs publikationsserie (B-serie)
IVL Nyheter: Nyheter om pågående projekt på den nationella och internationella marknaden
IVL Fakta: Referat av forskningsrapporter och projekt
IVLs hemsida: www.ivl.se

Forskning och utveckling som publiceras utanför IVLs publikationsservice registreras i IVLs A-serie. Resultat redovisas även vid seminarier, föreläsningar och konferenser.



IVL Svenska Miljöinstitutet AB

IVL Swedish Environmental Research Institute Ltd

P.O. Box 210 60, SE-100 31 Stockholm
Valhallavägen 81, Stockholm

Tel: +46 (0)8 598 563 00

Fax: +46 (0) 8 598 563 90

Säte: Stockholm

Org.nr: 556116-2446.

P.O. Box 5302, SE-400 14 Göteborg
Aschebergsgatan 44

Tel: +46 (0)31 725 62 00

Fax: +46 (0)31 725 62 90

VAT no: SE556116244601

www.ivl.se